Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der initialen Fissurenkaries mit besonderer Berücksichtigung der prismenfreien Zone

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
MATTHIAS ROST
aus Berlin

1983

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. P. Riethe
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der initialen Fissurenkaries mit besonderer Berücksichtigung der prismenfreien Zone

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
MATTHIAS ROST
aus Berlin

1983

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. W. Frommhold
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. P. Riethe
2. Berichterstatter: Prof. Dr. U. Drews

Druck: Zeeb-Druck, Tübingen 7 (Hagelloch)

Meinen Eltern und Freunden gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543928_0128

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	2
3.	PROBLEMSTELLUNG	5
4.	MATERIAL UND METHODE	6
5.	VORVERSUCHE	9
6.	REM-AUFNAHMEN mit Beschreibung und Auswertung	10
7.	ERGEBNISSE	48
8.	DISKUSSION	51
9.	ZUSAMMENFASSUNG	55
10.	LITERATURVERZEICHNIS	56

1. EINLEITUNG

Der deutsche Physiker KNOLL (zitiert nach OHNSORGE und HOLM, 1978) entwickelte 1935 das Grundprinzip der Rasterelektronenmikroskopie:
Die durch einen scharf gebündelten Elektronenstrahl aus einer elektrisch leitenden Oberfläche herausgelösten Sekundärelektronen lassen die Wiedergabe eines vergrößerten Bildes dieser Oberfläche auf einem Fernsehschirm zu.

MANFRED VON ARDENNE (zitiert nach REIMER und PFEFFERKORN, 1977) realisierte 1938 dieses Prinzip zuerst in Form eines Durchstrahlungsrasterelektronenmikroskops.

Aber erst Anfang der sechziger Jahre wurde diese Idee kommerziell aufgegriffen und ausgebaut.
(REIMER und PFEFFERKORN, 1977; OHNSORGE und HOLM, 1978; ROSENBAUER und KEGEL, 1978)

War man bis dahin auf Durchlicht-, Auflicht-, Elektronen- und Transmissionselektronenmikroskope, die jedoch bei der Darstellung und Beurteilung dreidimensionaler Strukturen verschiedene Nachteile mit sich brachten, angewiesen, so war es jetzt möglich, kleinste Details plastisch sichtbar zu machen.

Zunächst wurde das Rasterelektronenmikroskop in der werkstoffkundlichen Forschung eingesetzt, und erst mit verbesserten Präparationsmethoden fand es Eingang in Biologie und Medizin.

2. LITERATURÜBERSICHT

Als Erster erkannte BOYDE 1963 die Einsatzmöglichkeit des Rasterelektronenmikroskops in der zahnmedizinischen Forschung. Er benutzte dazu noch einen Prototypen der Firma Cambridge Instrument Co.

In Deutschland wurden die ersten Untersuchungen an der Universität Münster vorgenommen.
Forschungsgegenstände waren dabei:
durch Laserbeschuß hervorgerufene Veränderungen am Zahnschmelz (VAHL und PFEFFERKORN, 1967),
der Gefügeaufbau der Zahnhartsubstanzen (FROMME et al., 1967)
sowie Silikatzemente und Kunststoffe (RIEDEL und VAHL, 1967).

In der Folgezeit schlossen sich eine Vielzahl verschiedenster Untersuchungen an:

- gesunde und erkrankte Zahnhartsubstanzen:
  RIPA et al., 1966; GWINETT, 1966, 1967; BOYDE und LESTER, 1967; BOYDE et al., 1968; BOYDE, 1971; LESTER und BOYDE, 1967, 1968; POOLE und SILVERSTONE, 1969; HOFFMAN et al., 1968, 1969 a; HOLMA et al., 1970; ZUNIGA und QUIGLEY, 1970; MORTIMER und TRANTER, 1971; KERCKAERT, 1973; LINDEBORG, 1974; LUSTMAN et al., 1974; ERMIN, 1975; BRÄNNSTRÖM et al., 1977, 1980

- die Auswirkungen verschiedener demineralisierender Substanzen auf den gesunden Zahnschmelz:
  POOLE und JOHNSON, 1967; HOFFMAN et al., 1968, 1969 a, b, c; ZUNIGA und QUIGLEY, 1970; JOHNSON et al., 1971; SILVERSTONE et al., 1975

- Füllungsmaterialien und Werkstoffe:
  SILVERSTONE, 1974; GWINETT und MATSUI, 1967; KYSELOVA et al., 1968; LENZ et al., 1968; BOYDE und KNIGHT, 1969; KRAMER, 1973; TRIADAN, 1974, 1975; BRÄNNSTRÖM und NORDEVALL, 1977; GHAREVI, 1981

- Plaque:
  LEACH, 1967; BOYDE und LESTER, 1968; JONES, 1972; EASTCOTT und STALLARD, 1973

- Kavitätenpräparation:
  BOYDE und KNIGHT, 1969

- Mundschleimhautveränderungen:
  MORGENROTH und MORGENROTH, 1970

GALIL und GWINETT spritzten 1975 in Grübchen und Fissuren menschlicher Zähne ein Azeton-Vinyl-Gemisch und lösten anschließend die Zahnhartsubstanzen durch Säuren auf. Sie konnten anhand rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen zeigen, daß die Morphologie der Fissuren in der Dreidimensionalität wesentlich komplexer ist, als von NAGANO (1961) oder NEWBRUN (1978) angenommen wurde.

Bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen an Fissurenkaries konnte ERMIN (1975) zeigen, "... daß hiermit die topographische Lage der Fissur sowie Hauptstadien der Kariesprozesse im Schmelz und Dentin (Entmineralisierungsvorgänge, Infiltration von kariogenen Stoffen und Mikroorganismen) dreidimensional gut dargestellt werden können."

In den letzten Jahren wird das Rasterelektronenmikroskop besonders im Hinblick auf die Säure-Ätz-Technik (GWINETT und BUONOCORE, 1972; REINHARDT und VAHL, 1979; RUHSTORFER, 1979; FELLNER, 1980) und den Zustand der Zahnhartsubstanzen nach Maßnahmen der Zahnreinigung eingesetzt (DIEDRICH et al., 1975; LIE und MEYER, 1977; MÜLLER, 1980; MAYER et al., 1978; NOWY, 1980;).

BRÄNNSTRÖM et al.konnten 1980 mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops den Nachweis erbringen, daß eine Mikroorganismeninvasion bis zur Schmelz-Dentin-Grenze unter klinisch noch intaktem Schmelz von "white spots" möglich ist.

Wegen der immensen Fülle von Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Rasterelektronenmikroskopie in Biologie und Medizin, "... bereits bis zum Jahre 1972 schätzungsweise über 1000 ..." (BOYDE, 1972; zitiert nach ROSENBAUER und KEGEL, 1978), erhebt diese Literaturübersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie ist vielmehr als Anregung und Orientierungshilfe gedacht.

3. PROBLEMSTELLUNG

Durch seine ausgezeichnete plastisch-räumliche Darstellung, die große Tiefenschärfe und die Möglichkeit der stufenlosen Vergrößerung ohne Lageveränderung des Objekts wurde von uns das Rasterelektronenmikroskop für die Untersuchung und Beurteilung klinisch und makroskopisch nicht oder "fast" nicht erkennbarer initialer Läsionen des Fissurensystems eingesezt.

Besonderes Augenmerk richteten wir dabei auf die in der Literatur vernachlässigte "prismenfreie" Zone.

4. MATERIAL UND METHODE

Das Untersuchungsmaterial bildeten 25 bleibende Molaren und 4 Prämolaren, die aus prothetischen, parodontologischen oder kieferorthopädischen Gründen extrahiert werden mußten und klinisch nicht oder wenig kariös in Bezug auf das Fissurensystem schienen.

Sofort nach der Extraktion wurden die Zähne unter fließendem Wasser von Blut gereinigt, anhaftende Schleimhaut mit einem Skalpell entfernt, während Plaqueauflagerungen belassen wurden.
Bis zur weiteren Verwendung lagerten die Zähne bei Zimmertemperatur in physiologischer Kochsalzlösung.

Vor der Präparation wurden die Zähne einige Tage luftgetrocknet, die für uns unwichtigen Wurzeln wurden abgetrennt und die Kronen anschließend in der am geeignetsten scheinenden Richtung zerlegt. Zuerst wurde mit einer diamentierten Horicoscheibe etwa 0,5-1 mm tiefe "Führungsrillen" geschaffen und danach die Kronen mit Hammer und Meißel gebrochen. Auf diese Weise entstanden häufig zwei Fragmente.

Für die Vorversuche wurden zwei Zähne vollständig mit der Scheibe durchtrennt.

Als Präparationsmethode für die Vorbereitung zur Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop diente die Standardpräparation für Hartgewebe (OHNSORGE und HOLM, 1978)
Auch andere Autoren bevorzugten diese Methode (BOYDE, 1963; BOYDE und LESTER, 1967; FROMME et al., 1967; BOYDE et al., 1968; MAYER et al., 1978; WIELAND, 1978; NOWY, 1978), die andererseits auch Risiken mit sich bringt.

Durch Trocknung, Bruch oder im Hochvakuum des Rasterelektronenmikroskops können artefizielle Risse oder auch Schrumpfungen der Plaque vorkommen.

Auf eine Ultraschallreinigung der Fragmente wurde bewußt verzichtet, da bei Hartgeweben durch das Herauslösen von Teilen geringerer mechanischer Festigkeit Artefakte entstehen können.
(FROMME et al., 1967; PFEFFERKORN, 1970).

Ebenso wurde auf eine chemische Behandlung der Fragmente verzichtet, um nicht durch die Auflösung von Schmelzprismenkern oder -peripherie kariesähnliche Strukturveränderungen hervorzurufen.
(POOLE und JOHNSON, 1967; HOFFMAN et al., 1968, 1969a, b, c; ZUNIGA und QUIGLEY, 1970; JOHNSON et al., 1971; SILVERSTONE et al., 1975)

Jeweils 4-5 Fragmente wurden mit Zweikomponentenkleber auf einem speziellen Aluminiumträger befestigt.

Nach der Protokollierung ermöglichte ein Auflichtmikroskop Inspektion und makroskopische Fotographie der Präparate. Da jedoch die Qualität dieser Aufnahmen häufig mangelhaft war, wurde zusätzlich eine Protokollskizze angefertigt.

Vor dem Bedampfen mit einer etwa 150 Å dicken Gold-Palladium-Schicht wurde jedes Fragment am Übergang zwischen Aluminiumträger und Präparat mit Leitsilber gut umstrichen.

Die Präparate wurden größtenteils im Stereoscan Mark II a der Firma Cambridge Instrument Co. bei 10 kV betrachtet. (Ein Teil auch im neueren Stereoscan 250).

Für die Betrachtung wurde auf Standardvergrößerungen verzichtet, um nach Objekt zu entscheiden und den Bildausschnitt individuell bestimmen zu können.

Die Fotographien entstanden mit einer Kleinbildkamera auf Ilford Fp4-Filmen.
Insgesamt wurden 270 Aufnahmen gemacht, davon 38 photomakroskopische und 19 im neueren Stereoscan 250.

Auf das Funktionsprinzip des Rasterelektronenmikroskops wird in der vorliegenden Arbeit aus naheliegenden Gründen nicht näher eingegangen.

5. VORVERSUCHE

Für die Vorversuche wurden nach dem Zufallsprinzip acht Präparate ausgewählt. Die Fragmente wurden wie bereits beschrieben behandelt, zwei Zähne jedoch vollständig mit der diamantierten Scheibe durchtrennt.

Ziel der Vorversuche:

a) für die photomakroskopischen Aufnahmen eine optimale Beleuchtungsanordnung zu finden.

Alle Ergebnisse waren wegen der starken Reflektion der weißen Zahnflächen und des Aluminiumträgers sowie aufgrund der geringen Tiefenschärfe unbefriedigend.

b) zu entscheiden, ob es sinnvoller wäre, die Zähne entweder mit der Scheibe vollständig zu durchtrennen oder Brüche herzustellen.

Die diamantierte Scheibe war nicht brauchbar, weil Schnittflächen und Fissuren häufig verschmiert und eine anschließende Reinigung notwendig wurde.

c) festzustellen, ob ungereinigte und ungeätzte Präparate überhaupt für eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung geeignet sind.

Letzteres konnte größtenteils bestätigt werden, (Abb. 1, 2, 3) wenn auch in einer Anzahl von Fällen die Prismenstrukturen nicht so deutlich in Erscheinung traten.

6. REM - AUFNAHMEN mit Beschreibung und Auswertung

Abb. 1: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 38 x

- Fissureneingangstrichter FET
- Fissurenwand FW
- Fissurenboden FB
- Schmelz S
- Dentin D
- Schmelz-Dentin-Grenze SDG

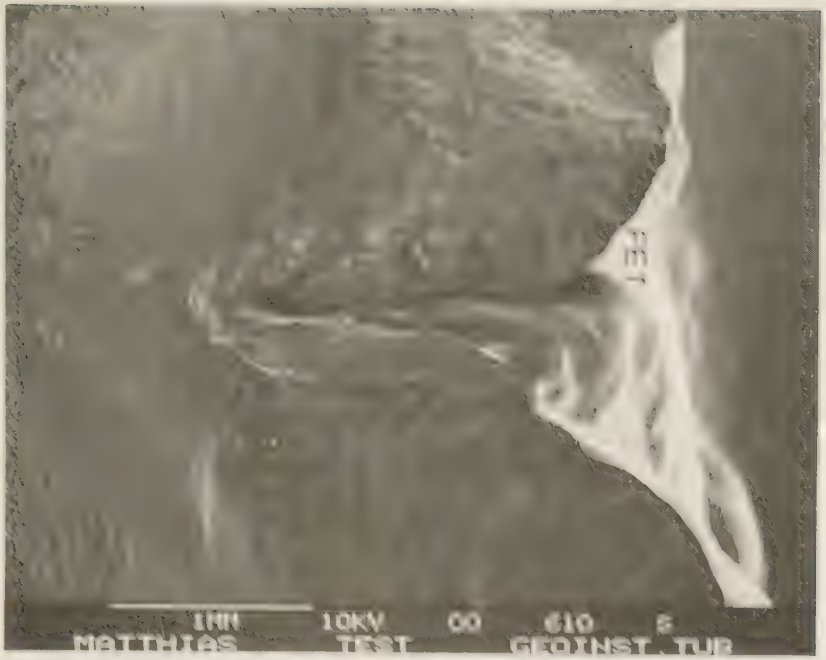

1MM
10KV
00
#10
MATTHIAS
TEST
GEOINST.TUB

Abb. 2: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 65 x

- Höckerabhang	HA
- Fissureneingangstrichter	FET
- Fissurenwand	FW
- Fissurenboden	FB
- Plaquerest	PL
- Läsion	L
- Schmelz	S

Abb. 3: Detailaufnahme aus Abb. 2
Vergrößerung 220 x

- Schmelzprismen	SP
- prismenfreie Zone	PFZ

HA
FET
400PM 7.9KV 00 607 S
MATTHIAS TEST GEOINST.TUB

PFC
100PM 7.9KV 00 608 S
MATTHIAS TEST GEOINST.TUB

Abb. 4: (Photomakroskop, nachgezeichnet)
Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 25 x

- beide Fissuren am Boden verfärbt

Abb. 5: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 30 x

- linke I-Fissur mit Plaque angefüllt
- rechte I-Fissur durch ungünstigen Bruch nicht zu beurteilen

Abb. 6: Detail aus Abb. 5
Vergrößerung 200 x

- linke I-Fissur mit Inhalt
- Fissureneingangstrichter nicht kariös
- prismenfreie Zone bis in den Bereich des Fissureneingangstrichters ►

Abb. 7: Detail aus Abb. 6
Vergrößerung 500 x

- Schmelzprismen links SP
- prismenfreie Zone vollkommen intakt →
- Fissureninhalt rechts FI

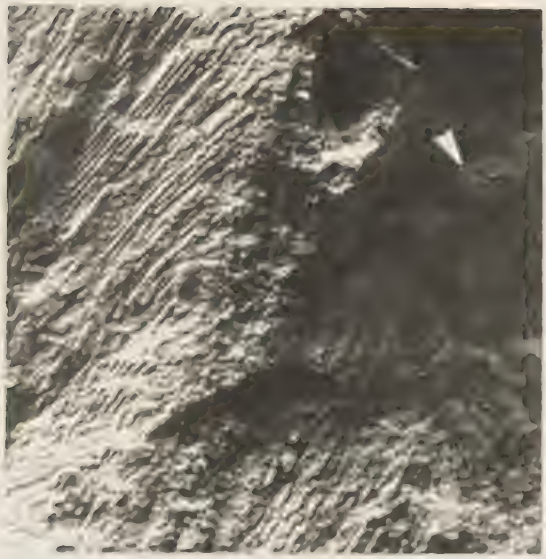


Abb. 8: Detail aus Abb. 7
Vergrößerung 2000 x

- glatte Oberfläche und geradlinige Bruchkante der prismenfreien Zone →
- keine Anzeichen für Demineralisierungen

Abb. 9: I-Fissur eines Molaren
Vergrößerung 200 x

- trotz der Plaqueauflagerungen keine Demineralisierung der Fissurenwände

Abb. 10: Detail aus Abb. 9
Vergrößerung 1000 x

- unterer Fissurenabschnitt
- Fissurenwände nicht angegriffen
- prismenfreie Zone an der Oberfläche glatt, an der Bruchkante geradlinig
- keine Zeichen von Demineralisation

- Fissureninhalt:
  Kokken ↑ und zellförmige Strukturen ▲
  (Schrumpfung der Kokken durch die Trocknung ohne Fixierung)

Abb. 11: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 40 x

- U-Fissur

Abb. 12: Detail aus Abb. 11
Vergrößerung 400 x

- Plaqueauflagerung hat Schmelzoberfläche demineralisiert und dadurch aufgerauht

PFZ
SP

Abb. 13: Detail aus Abb. 11
Vergrößerung 4000 x

- durch Demineralisation aufgerauhte Oberfläche der prismenfreien Zone
- Plaqueauflagerung

Abb. 14: Boden eines Grübchens (anderes Objekt)
Vergrößerung 2000 x

- durch Demineralisation aufgerauhte Oberfläche der prismenfreien Zone
- Plaqueauflagerung

Abb. 15: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 80 x

- mit Plaque gefüllte V-Fissur

Abb. 16: Detail aus Abb. 15
Vergrößerung 1400 x

- linke Seite der Fissur
- trotz Plaqueauflagerung intakte Oberfläche der prismenfreien Zone ⟶
- darunter Schmelzprismen

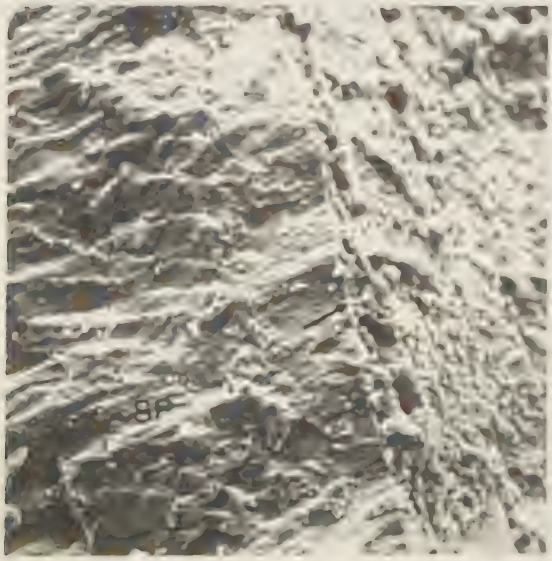


Abb. 17: Detail aus Abb. 15
Vergrößerung 1300 x

- oberer Anteil der rechten Fissurenwand noch intakt
- ab der Mitte des Bildes beginnende Zerstörung der prismenfreien Zone ⟶
- Kokken und zellförmige Strukturen

Abb. 18: Detail aus Abb. 15
Vergrößerung 1400 x

- tieferer Anteil der rechten Fissurenwand
- oberflächliche Zerstörung deutlich erkennbar
- Bruchkante nicht mehr geradlinig

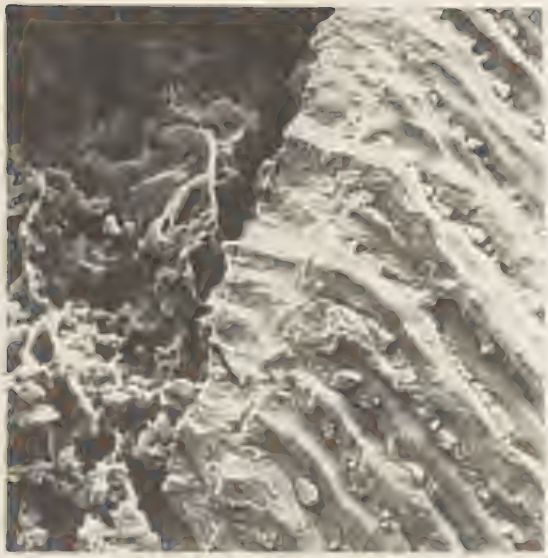


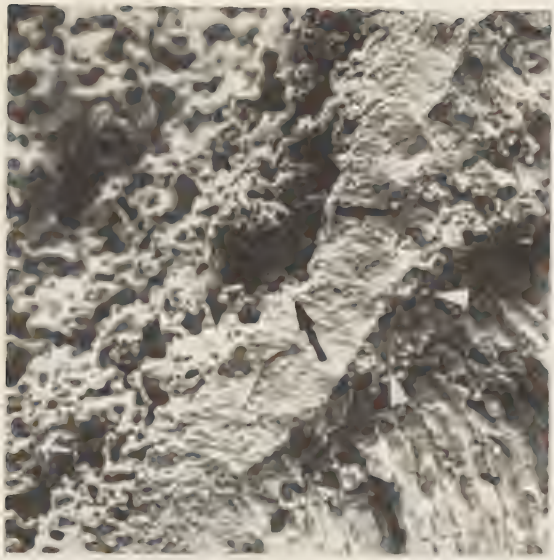
Abb. 19: Detail aus Abb. 15
Vergrößerung 1000 x

- rechte Fissurenwand
- lakunenartiger Einbruch in das Gefüge der prismenfreien Zone →

(Das Verbleiben eines Überhangs ▲ aus prismenfreiem Schmelz, deutet auf die bereits erfolgte Demineralisierung der darunterliegenden Schmelzprismen hin).

Abb. 20: Detail aus Abb. 15
Vergrößerung 1300 x

- Fissurenboden
- beginnende Oberflächenzerstörung und Eindringen der Plaque



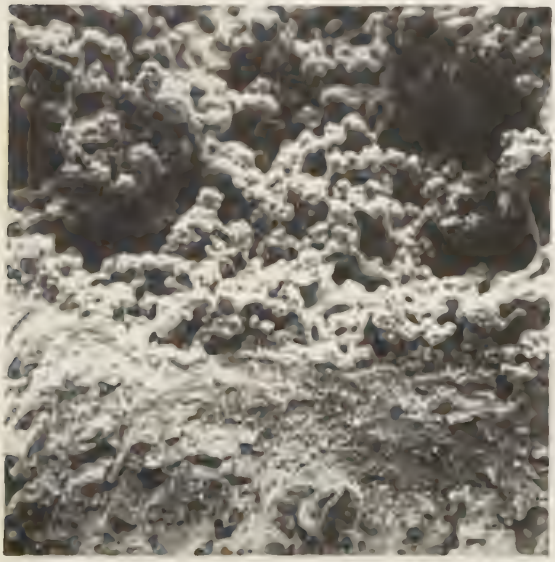


Abb. 21: Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 90 x

- I-Fissur plaquegefüllt

Abb. 22: Detail aus Abb. 21
Vergrößerung 1500 x

- Fissurenboden
- Seitenwand links demineralisiert, dadurch aufgerauht ⟶
- Plaqueauflagerung rechts

(Riß artefiziell)

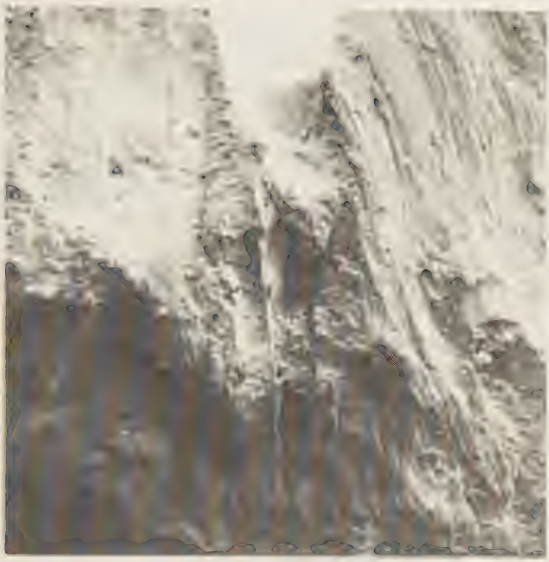


Abb. 23: Detail aus Abb. 21
Vergrößerung 700 x

- Mikroorganismeninvasion und Schmelzreste von der Fissur aus entlang der Schmelzprismen
- stark zerstörte aber noch erhaltene prismenfreie Zone schwer erkennbar →

Abb. 24: Detail aus Abb. 23
Vergrößerung 1600 x

- Mikroorganismen breiten sich unter der noch erkennbaren prismenfreien Zone entlang der Schmelzprismen aus
- Schmelzperipherie bleibt teilweise stehen →

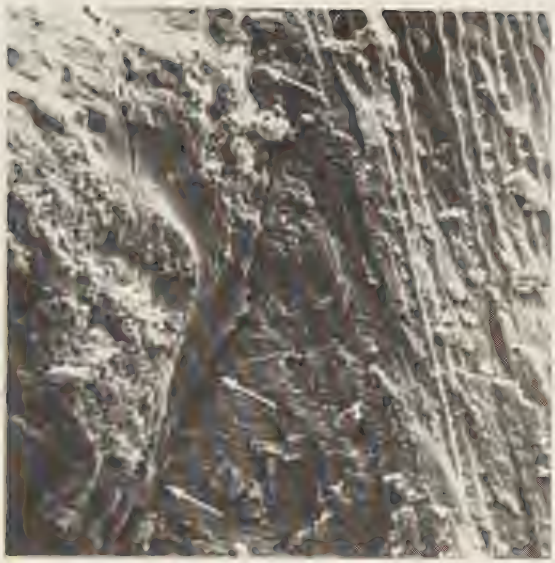


Abb. 25: (Photomakroskop, nachgezeichnet)
Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 30 x

- Fissureninhalt verfärbt
- Verfärbung der Grübchen links

Abb. 26: REM-Aufnahme des Zahnes aus Abb. 25
Vergrößerung 34 x

- V-Fissur

(Risse an der Schmelz-Dentin-Grenze
sind artefiziell bedingt)

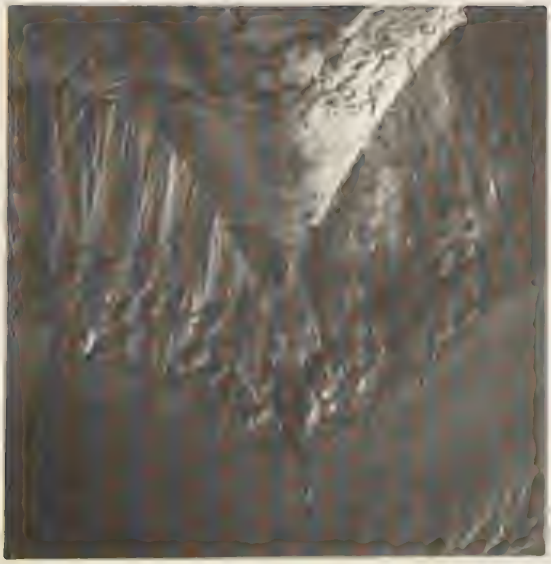


Abb. 27: Detail aus Abb. 26
Vergrößerung 3000 x

- Plaqueauflagerungen haben zu größeren Zerstörungen der prismenfreien Zone geführt
- Plaque dringt zapfenförmig in den zerstörten Schmelz ein →
- die darunterliegenden Schmelzprismen werden demineralisiert

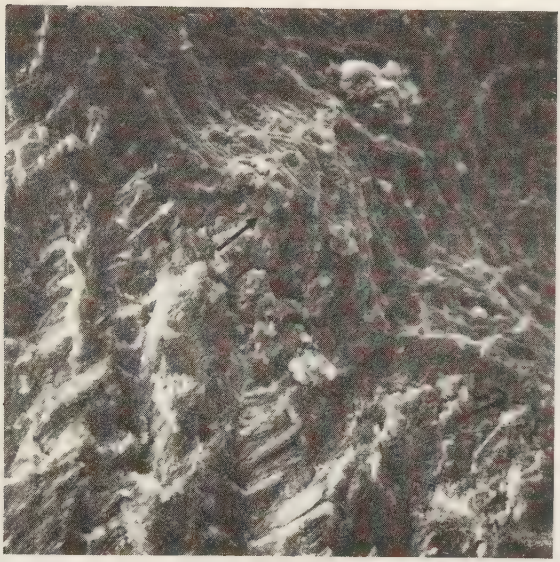


Abb. 28: (Photomakroskop, nachgezeichnet)
Ungeätzter Bruch eines Molaren
Vergrößerung 50 x

- Boden der I-Fissur kariös
- Verfärbung hat Schmelz-Dentin-Grenze erreicht ⟶

Abb. 29: REM-Aufnahmen des Zahnes aus Abb. 28
Vergrößerung 60 x

Abb. 30: Detail aus Abb. 29
Vergrößerung 230 x

- Boden der Fissur kariös
- herausgebrochener Schmelzrest →
- demineralisierter Schmelz ►

Abb. 31: Detail aus Abb. 30
Vergrößerung 1200 x

- kariöse Schmelzprismen kurz vor Schmelz-Dentin-Grenze
- charakteristische Honigwabenstruktur durch herausgelöstes Zentrum des Prismas und verbliebener Peripherie

(Grund der Verfärbung in Abb. 28)

Abb. 32: Detail aus Abb. 30
Vergrößerung 1200 x

- demineralisierte Oberfläche der prismenfreien Zone →
- freigelegte Schmelzprismenenden durch herausgebrochenen Schmelzrest ►
- Schmelzprismenenden sind deutlich demineralisiert ►

PFZ
SP

7. ERGEBNISSE

Bei der Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Bilder konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Bei dem überwiegenden Teil der untersuchten Zähne zeigte sich an den Fissurenwänden eine bandartige prismenfreie Zone (Abb. 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 27, 30, 32) die, ohne daß wir dies ausdrücklich untersuchten, häufig auch im Bereich der Fissureneingangstrichter zu finden war (Abb. 2, 3, 6, 9).

Diese Zone ist zwischen 10 und 35 µm dick mit einem durchschnittlichen Wert von 18 µm. Sie besteht aus palisadenartig zueinander parallel gelagerten einzelnen Schmelzkristallen, die sich von der flächenartigen Anordnung der darunterliegenden Schmelzprismen deutlich unterscheidet (Abb. 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 33).

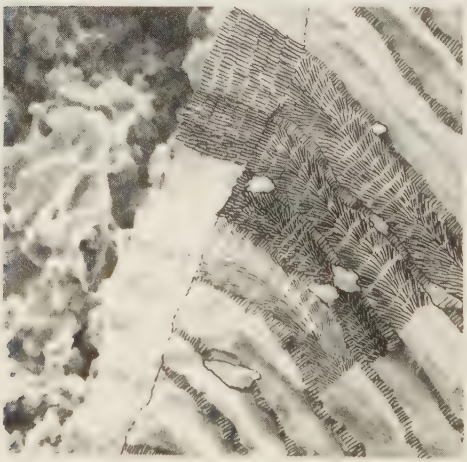


Abb. 33 (Vgl. Abb. 17): Anordnung der Schmelzkristalle in der prismenfreien Zone, den Prismenzentren und -peripherien

Die Oberfläche, also die Fissurenwand, erscheint glatt (Abb. 8). Die Bruchfläche läßt die parallelgelagerten Schmelzkristalle erkennen (Abb. 8, 13); die Bruchkante selbst ist geradlinig (Abb. 7, 8, 10, 15, 16, 33). Der Übergang von der prismenfreien Zone zu den Schmelzprismen ist nicht abrupt, sondern fließend und ungleichmäßig einstrahlend (Abb. 8, 10, 14, 33).

Das erste rasterelektronenmikroskopisch sichtbare Anzeichen einer Initialkaries ist eine Oberflächenrauhigkeit der prismenfreien Zone (Abb. 12, 22). Die Bruchkante erscheint nun nicht mehr geradlinig sondern leicht gewellt oder gezackt (Abb. 12, 13, 14, 17, 18). Dies rührt von einer bisher nicht näher erklärbaren selektiven Anlösung einzelner Schmelzkristalle her.

In die entstandenen Rauhtiefen dringt die Plaque ein, da sie hier eine bessere Retention findet. Lakunenartige Vertiefungen entstehen durch die Zerstörung größerer zusammenhängender Areale der prismenfreien Zone. In ihnen liegen, ähnlich den Osteoklasten, Mikroorganismen (Abb. 20).

Die Plaqueauflagerungen "verzapfen" sich mit dem darunterliegenden zerstörten Schmelz, sie können sich bei der Trocknung nicht mehr abheben (Abb. 21, 27). Durch die prismenfreie Zone hindurch beginnt die Demineralisierung der darunter liegenden Schmelzprismen. (In einigen Fällen beobachteten wir eine sofort erfolgende stärkere Zerstörung der prismenfreien Zone).

Durch die erfolgte Demineralisierung der Schmelzprismen können sich unter der noch relativ intakten prismenfreien Zone Mikroorganismen ausbreiten, sofern sie durch eine Stelle stärkerer Zerstörung eindringen konnten (Abb. 23, 24). Demineralisation und Invasion erfolgen zunächst vorzugsweise entlang des Prismenverlaufs, wobei einzelne Anteile der Prismenperipherie stehenbleiben können (Abb. 24).

Besteht keine Möglichkeit für einzelne Mikroorganismen durch die prismenfreie Zone zu gelangen und sich darunter auszubreiten, so schreitet trotzdem die Demineralisierung der Schmelzprismen durch die prismenfreie Zone hindurch weiter fort. Bei genügender Schwächung dieser "tragenden Säulen" brechen größere Schmelzteile aus dem Verband der prismenfreien Zone heraus (Abb. 30, 32). Die freigelegten Schmelzprismen zeigen dann häufig die charakteristische Honigwabenstruktur, die durch die bevorzugte Auflösung der Prismenzentren entsteht (Abb. 31).

Mit dem Verlust der resistenteren prismenfreien Zone ist nun der Weg zur klinisch wahrnehmbaren Karies vorgegeben.

Fissurenkaries beginnt demnach nicht erst mit der Zerstörung der Schmelzprismen und dem Auftreten der Honigwabenstruktur ("honeycomb structure"), sondern früher.

8. DISKUSSION

Mit der Untersuchung der prismenfreien Zone wendeten wir uns einem Bereich zu, der bisher bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen nur am Rande Beachtung fand
(POOLE und JOHNSON, 1967; HOFFMAN et al., 1969 b; POOLE und SILVERSTONE, 1969; ZUNIGA und QUIGLEY, 1970) oder als Schmelzprismen fehlgedeutet wurde, die durch den kariösen Prozeß ihre normale Struktur verloren hatten (ERMIN, 1975).

MORTIMER und TRANTER (1971) beobachteten rasterelektronenmikroskopisch eine Richtungsänderung der Prismen in der Nähe der Schmelzoberfläche und deren Vereinigung zu einer relativ strukturlosen Mineralsalzschicht, die offensichtlich weniger stark demineralisiert war, als die Schmelzprismen.

Nur KERCKAERT führte 1973 eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der prismenfreien Zone über "white spots" durch.

Bereits 1934 beschrieb THEWLIS (zitiert nach APPLEBAUM, 1940) eine stärker verkalkte, oberflächliche Schmelzschicht, die er 1937 auch mikrophotometrisch nachwies.
GUSTAFSON (1959) berichtete über eine "Kompressionszone" des äußeren Schmelzes.

"Grübchen und Fissuren entstehen an der Grenze von Schmelzbildungszentren im Höckerbereich" (RIETHE, 1982). Während der Entstehung der Höcker kommt es zum Zusammentreffen der Ameloblasten im Bereich der späteren Fissur (BODECKER, 1924). Diese Ameloblasten stellen ihre sekretorische Leistung ein (SCHROEDER, 1976), werden stranguliert (PROVENZA, 1964) und sterben ab (SCHOUR und MASSLER, 1940). Außerdem kommt es zu einer "Kompression" der Schmelzprismen (GUSTAFSON, 1959). Diese Beobachtungen erklären die Entstehung der prismenfreien Zone.
Die übrigen Ameloblasten bauen weiter die Höcker auf und lassen damit Grübchen und Fissuren entstehen.

RIPA et al. (1966) fanden durch Phasenkontrast-mikroskopie bei allen untersuchten Milchzähnen und 70% der bleibenden Zähne eine prismenfreie Zone. Bei den bleibenden Zähnen zu zwei Dritteln aber ausschließlich im zervikalen Bereich.
Angaben über die Häufigkeit im Fissurenbereich wurden nicht gemacht und konnten auch bei der uns zugänglichen Literatur nicht gefunden werden. Dies führen wir auf eine bei diesen Untersuchungen entweder zu weit fortgeschrittenen Karies, auf eine chemische Vorbehandlung oder auf eine bei Zahnschliffen mögliche Maskierung der prismenfreien Zone zurück. Vielfach wurde diese prismenfreie Zone aber wohl einfach nicht beachtet.

RIPA et al. (1966) unterschieden eine bei Milchzähnen ausschließlich und bei bleibenden Zähnen teilweise vorkommende bandartige prismenfreie Zone

von einem bei bleibenden Zähnen vorkommenden "Zwiebelschalentyp". Bei den von uns durchgeführten Untersuchungen konnten in den Fissuren nur die bandartigen Typen gefunden werden.
RIPA et al. (1966) fanden weiterhin die parallele Anordnung der Schmelzkristalle und eine durchschnittliche Dicke von 30 µm, dies wurde durch GWINETT (1966, 1967) elektronenmikroskopisch, durch KERCKAERT (1973) rasterelektronenmikroskopisch bestätigt.

In der vorliegenden Arbeit fand sich im Fissurenbereich nur ein Durchschnittswert von 18 µm, was auf eine in den Fissuren stattfindende stärkere Kompression schließen läßt.

Stärkere Kompression, erhöhte Mineralisation (GWINETT, 1967) und die Speicherung großer Fluormengen (SCHROEDER, 1976) würden erklären, warum die prismenfreie Zone dem Kariesangriff länger als die der Schmelzprismen standhält.

Aus der Beobachtung heraus, daß das erste rasterelektronenmikroskopische Anzeichen einer Initialkaries aus einer Oberflächenrauhigkeit besteht und anschließend, durch die noch relativ intakte prismenfreie Zone hindurch, eine Demineralisierung und Mikroorganismeninvasion erfolgen kann, ergibt sich die Forderung nach einer sehr frühzeitigen, prophylaktischen Resistenzerhöhung dieser Zone.

Die Möglichkeit einer Resistenzerhöhung kann sowohl durch prophylaktische Fissurenversiegelung als auch in Form von Fluorideinlagerungen, erfolgen.

Die Fissurenversiegelung kommt erst zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht, wenn im Fissureneingangsbereich nach Abrasion der prismenfreien Zone ein retentives Ätzmuster geschaffen werden kann, denn der prismenfreie Schmelz erlaubt nur ein ungenügendes Ätzmuster (GWINETT und MATSUI, 1967; LUTZ und SCHNEIDER, 1978; RIETHE, 1980).

Die härtere, stärker mineralisierte und säureresistentere prismenfreie Zone muß als "Schutzschild" für den schwächeren prismenförmigen Schmelz erhalten bleiben!

9. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops initiale Fissurenläsionen untersucht, wobei besonderer Wert auf die prismenfreie Zone gelegt wurde.

Folgende Ergebnisse konnten festgestellt werden:

Die prismenfreie Zone zeigt im gesunden Schmelz eine glatte Oberfläche und eine geradlinige Bruchkante. Die Schmelzkristalle liegen palisadenartig parallel zueinander angeordnet (Abb. 8, 33).

Die Initialkaries beginnt mit einer Oberflächenrauhigkeit und schreitet fort mit lakunenartigen Vertiefungen, in der sich häufig Plaque befindet (Abb. 11, 19).

Gleichzeitig werden durch die prismenfreie Zone hindurch die darunterliegenden Schmelzprismen demineralisiert (Abb. 19). Durch eine Eintrittspforte können Mikroorganismen eindringen und sich ausbreiten (Abb. 23).

Bei ausreichender Schwächung der tragenden Schmelzprismen brechen größere Areale der noch relativ intakt gebliebenen prismenfreien Zone aus dem Verband (Abb. 32).

Aus diesen Beobachtungen erhebt sich die Forderung, diese resistentere,prismenfreie Zone durch prophylaktische Mittel zu erhalten.

10. LITERATURVERZEICHNIS

APPLEBAUM, E. The radiopaque surface layer of enamel and caries
J. dent. Res. 19, 41 (1940)

BODECKER, CH.F. Microscopie study of enamel fissures with reference to their operative treatment
Dent. Cosmos 66, 1056 (1924)

BOYDE, A. Scanning electron microscopy of the surface of developing mammalian dental enamel
Nature 198, 1102 (1963)

BOYDE, A., and LESTER, K.S.
A method of preparing bacterial plaque lining carious cavities for examination by scanning electron microscopy
Arch. oral Biol. 13, 1413 (1968)

BOYDE, A. and LESTER, K.S.
An electron microscope study of fractured dentinal surfaces
Calc. Tiss. Res. 1 122 (1967)

BOYDE, A., SMALES, F.C., and JONES, S.J.
The depth of the "enamel rod ends"
I. dent. Res. 47 1005 (1968)

BOYDE, A., and KNIGHT, P.J.
The use of scanning electron microscopy in clinical dental research
Brit. dent. J. 127, 313 (1969)

BOYDE, A. 'New' surface features of human dental enamel
I. Anatomy 109, 343 (1971)

BRÄNNSTRÖM, M. and NORDEVALL, K.J.
The effect of acid etching on enamel, dentin, an the inner surface of the resin restoration: a scanning electron microscopic investigation
I. dent. Res. 56, 917 (1977)

BRÄNNSTRÖM, M. FRISKOPP, J., ISACSSON, G., and WICTORIN, L.
Experimental caries in young human permanent teeth implanted in removable dentures
Arch. oral Biol. 22, 571 (1977)

BRÄNNSTRÖM, M., GOLA, G., NORDEVALL, K.J. and TORSTENSON, B.
Invasion of microorganisms and some structural changes in incipient enamel caries
Caries Res. 14, 276 (1980)

DIEDRICH, P., VAHL, I., BOMFLEUR, W.und MUTSCHELKNAUSS, R.
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Wurzeloberfläche nach Anwendung verschiedener Hand- und Ultraschallinstrumente
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 396 (1975)

EASTCOTT, O.A. and STALLARD, R.E.
Sequential changes in developing human dental plaque as visulized by scanning electron microscopy
I. Periodont. 44, 218 (1973)

[illegible], P. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an Fissurenkaries bei menschlichen Zähnen
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 614 (1975)

FELLNER, U. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über die Versiegelung der Grübchen und Fissuren
Med. Diss. Tübingen 1981

FROMME, H.G., RIEDEL, H. und VAHL, J.
Beobachtungen zum Gefügeaufbau der Zahnhartsubstanzen mit Hilfe des Raster-Elektronen-Auflichtmikroskopes
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 395 (1967)

GALIL, K.A., and GWINETT, A.J.
Three-dimensional replicas of pits and fissures in human teeth: Scanning electron microscopy study
Arch. oral Biol. 20, 493 (1975)

GHAREVI, N. Die Amalgamfüllung vor und nach Politur, eine rasterelektronenmikroskopische Studie
Dtsch. zahnärztl. Z. 36, 845 (1981)

GUSTAFSON, A.G.
A morphologic investigation of certain variations in the stucture and mineralisation of human dental enamel
Odont. Tidskr. 67, 361 (1959)

GWINETT, A.J. The ultrastructure of the "prismless" enamel of deciduous teeth
Arch. oral Biol. 11, 1109 (1966)

GWINETT, A.J. The ultrastructure of the "prismless" enamel of permanent human teeth
Arch. oral Biol. 12, 381 (1967)

GWINETT, A.J., and MATSUI, A.
A study of enamel adhesives
Arch. oral Biol. 12, 1615 (1967)

GWINETT, A.J., and BUONOCORE, M.G.
A scanning electron microscope study of pit and fissure surfaces conditioned for adhesive sealing
Arch. oral Biol. 17, 415 (1972)

HOFFMAN, S., MC EWAN, W.S., and DREW, C.M.
Scanning electron microscopy of dental enamel
J. dent. Res. 47, 842 (1968)

HOFFMAN, S., MC EWAN, W.S., and DREW, C.M.
Scanning electron microscope studies of dental enamel
J. dent. Res. 48, 242 (1969 a)

HOFFMAN, S., MC EWAN, W.S., and DREW, C.M.
Scanning electron microscope studies of EDTA-treated enamel
J. dent. Res. 48, 1234 (1969 b)

HOFFMAN, S., ROVELSTAD, G., MC EWAN, W.S., and DREW, C.M.
Demineralization studies of fluoride-treated enamel using scanning electron microscopy
J. dent. Res. 48, 1296 (1969 c)

HOLMA, B., GRANATH, L.-E., and GUSTAFSON, G.
A model for the study of tooth enamel by scanning electron microscopy
Odont. Rev. 21, 1 (1970)

JOHNSON, N.W., POOLE, D.F.G., and TYLER, J.E.
Factors affecting the differential dissolution of human enamel in acid and EDTA. A scanning electron microscope study
Arch. oral Biol. 16, 385 (1971)

JONES, S.J. A special relationship between spherical and filamentous microorganisms in mature human dental plaque
Arch. oral Biol. 17, 613 (1972)

KERCKAERT, G.A. Electron microscopy of human carious dental enamel
Arch. oral Biol. 18, 751 (1973)

KRAMER, M.L. Über die Adhäsion des Kompositionsfüllstoffes Palakav (Raster-Elektronenmikroskopische Untersuchungen)
Med. Diss. Tübingen 1973

KYSELOVA, J., VAHL, J. und ZAJICEK, O.
Die Mikrostruktur des Amalgams als Zahnfüllungsmaterial nach anodischer Korrosion
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 631 (1968)

LEACH, S.A. The acquired integuments of the teeth
Brit. dent. J. 122, (1967)

LENZ, P., RICHTER, I.E. und HUBER, H.
Oberflächenuntersuchungen von zahnärztlichen Kunststoffen mittels des Raster-Sekundärelektronenmikroskops Stereoscan
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 717 (1968)

LESTER, K.S., and BOYDE, A.
Electron microscopy of predentinal surfaces
Calc. Tiss. Res. 1, 44 (1967)

LESTER, K.S., and BOYDE, A.
Some preliminary observations of caries ("remineralization") crystals in enamel and dentine by surface electron microscopy
Virchows Arch. path. Anat. 344, 196 (1968)

LIE,T., and MEYER, K.
Calculus removal and loss of tooth substance in response to different periodontal instruments
J. Periodont. 4, 250 (1977)

LINDEBORG, P. Das Raster-Elektronenmikroskop — ein Gerät zur Untersuchung von Hartgewebs-Oberflächen
Ref. in Quint. 25, 95 (1974)

LUSTMAN, J., SELA, M., SELA, J., and ULMANSKY, M.
White enamel patches
J. oral Path. 3, 123 (1974)

LUTZ, F. und SCHNEIDER, PH.
Prophylaktische und therapeutische Versiegelungen In PETERS, S.: Prophylaxe
Buch- und Zschr. Verlag 'Die Quintessenz'
Berlin 1978

MAYER, R., WIELAND, D. und HEMLEBEN, CH.
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Zahnoberfläche
Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 599 (1978)

MORGENROTH, K. und MORGENROTH JR., K.
Vergleichende stomatoskopische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Mundschleimhautveränderungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 199 (1970)

MORTIMER, K.V., and TRANTER, T.C.
A scanning electron microscope study of carious enamel
Caries Res. 5, 240 (1971)

MÜLLER, H.J. Glättung und Politur von Zahnhartsubstanzen nach instrumenteller Entfernung von Zahnstein und Konkrementen. Eine rasterelektronenmikroskopische Studie.
Med. Diss. Tübingen 1980

NAGANO, T. Relation between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries
Ref. in Dent. Abstr. 6, 426 (1961)

NEWBRUN, E. Cariology
The Williams and Wilkins Comp.
Baltimore 1978

NOWY, K.J. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Zahnoberflächen nach karies- und parodontalprophylaktischen Maßnahmen
Med. Diss. Tübingen 1980

OHNSORGE, J. und HOLM, R.
Rasterelektronenmikroskopie
2. Aufl., Thieme Stuttgart 1978

PFEFFERKORN, G.E.
Specimen preparation techniques
Scanning Electron Microscopy / 1970
Proceed. of the Third Ann. Scann.
Electr. Microsc. Symposium. II T Res.
Inst., Chicago, Illin., 89 (1970)

POOLE, D.F.G., and JOHNSON, N.W.
The effects of different dimineralizing
agents on human enamel surfaces studied
by scanning electron microscopy
Arch. oral Biol. 12, 1621 (1967)

POOLE, D.F.G., and SILVERSTONE, L.M.
Observations with the scanning electron
microscope on trauma-induced micro-
cavities in human enamel
Arch. oral Biol. 14, 1323 (1969)

PROVENZA,D.V. Oral histology. Inheritance and
development
Lippincott, Philadelphia 1964

REIMER, L. und PFEFFERKORN, G.
Rasterelektronenmikroskopie
2. Aufl., Springer Berlin 1977

REINHARDT, K.-J. und VAHL, J.
Ein rasterelektronenmikroskopischer
Nachweis der Eindringtiefe von Schmelz-
adhäsiven in angeätzten Zahnschmelz
Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 403 (1979)

RIEDEL, H. und VAHL, J.
Experimentelle Untersuchungen über neu-
zeitliche Füllungsmaterialien mit Hilfe
des Raster-Elektronen-Auflichtmikroskopes
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 476 (1967)

RIETHE, P. Pro et contra Fissurenversiegelung
Kariesprophylaxe 2, 75 (1980)

RIETHE, P. Grübchen und Fissuren
Kariesprophylaxe im Druck

RIPA, L.W., GWINETT, A.J., and BUONOCORE, M.G.
The "prismless" outer layer of
deciduous and permanent enamel
Arch. oral Biol. 11, 41 (1966)

ROSENBAUER, K.A. und KEGEL, B.H.
Rasterelektronenmikroskopische Technik
Thieme Stuttgart 1978

RUHSTORFER, K. Experimentelle Untersuchungen an angeätztem Dentin und von Unterfüllungsmaterialien im Rahmen der Säure-Ätz-Technik
Med. Diss. Tübingen 1979

SCHOUR, I., and MASSLER, M.
Studies in tooth development: The
growth pattern of human teeth
J. Amer. dent. Ass. 27, 1918 (1940)

SCHROEDER, H.E.
Orale Strukturbiologie
Thieme Stuttgart 1976

SILVERSTONE, L.M.
The surface zone in caries and in
caries-like lesions produced in vitro
Brit. dent. J. 125, 145 (1968)

SILVERSTONE, L.M.
Fissure sealants
Caries Res. 8, 2 (1974)

SILVERSTONE, L.M., SAXTON, C.A., DOGON, I.L., and FEJERSKOV, O.
Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy
Caries Res. 9, 373 (1975)

TRIADAN, H. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zweier "Composite"-Füllungsmaterialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 806 (1974)

TRIADAN, H. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über das Verhalten sogenannter Ätz-Adhäsiv-Komposit-Kunststoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 721 (1975)

VAHL, J. und PFEFFERKORN, G.
Elektronenoptische Untersuchungen der durch Laser-Beschuß hervorgerufenen Veränderungen an Zahnhartsubstanzen
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 386 (1967)

WIELAND, D. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Schmelzoberfläche und der Schmelz-Zement-Grenze nach Bearbeitung mit Zahnsteinentfernungsinstrumenten
Med. Diss. Tübingen 1976

ZUNIGA, M.A., and QUIGLEY, M.B.
Incipient carious enamel lesions studied by scanning electron microscopy
Scanning Electron Microscopy / 1970
Proceed. of the Third Ann. Scann. Electr. Microsc. Symposium. II T Res. Inst., Chicago, Illin., 209 (1970)

Am Ende der Arbeit möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Dr. P. Riethe für die Überlassung des Themas, die freundliche und stets gewährte Unterstützung, die Korrektur und die Berichterstattung ganz herzlich bedanken.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Ch. Hemleben und besonders Herrn Hüttemann für Anregung und Hilfe am Rasterelektronenmikroskop im SFB 53 des geologischen Instituts.

LEBENSLAUF

Am 10. August 1958 wurde ich, Matthias Wolfgang Rost, als erster Sohn von Dr. med. dent. Wolfgang Rost und seiner Ehefrau Charlotte, geborene Krugjohann, in Berlin geboren.

Von 1960 bis 1965 lebte ich im Jemen, wo mein Vater im Entwicklungsdienst tätig war.

Im März 1965 wurde ich in Jebenhausen bei Göppingen eingeschult.

Von November 1965 an lebte ich in Dietenheim bei Ulm und seit Januar 1968 in Stuttgart, wo ich von 1968 bis 1977 das Zeppelin-Gymnasium besuchte und die Reifeprüfung ablegte.

Von Anfang Juli bis Ende Oktober 1977 leistete ich meinen Grundwehrdienst ab, aus dem ich auf Grund der Zulassung zum Zahnmedizinstudium in Tübingen entlassen wurde.

Hier bestand ich im Oktober 1978 die naturwissenschaftliche und im März 1980 die zahnärztliche Vorprüfung.

Das Studium beendete ich am 14. Dezember 1982 mit dem Staatsexamen.